



PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application No. : 10/800,692 Confirmation No. :
Applicant : Dieter NAGEL, et al.
Filed : March 16, 2004
TC/A.U. : To Be Assigned
Examiner : To Be Assigned
Docket No. : 056228.53302US
Customer No. : 23911
Title : Radar Process for Classifying or Identifying Helicopters

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. §119

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

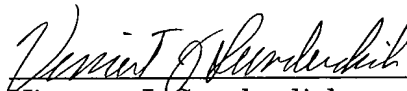
Sir:

The benefit of the filing date of prior foreign application No. 103 11 880.2, filed in Germany on 17 March 2003, is hereby requested and the right of priority under 35 U.S.C. §119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of the original foreign application.

Respectfully submitted,

March 26, 2004



Vincent J. Sunderdick
Registration No. 29,004

CROWELL & MORING LLP
Intellectual Property Group
P.O. Box 14300
Washington, DC 20044-4300
Telephone No.: (202) 624-2500
Facsimile No.: (202) 628-8844

VJS:adb

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 11 880.2

Anmeldetag: 17. März 2003

Anmelder/Inhaber: EADS Deutschland GmbH, 85521 Ottobrunn/DE

Bezeichnung: Radarverfahren zur Klassifikation oder Identifikation von Helikoptern

IPC: G 01 S 7/41

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 3. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Brosig'.

Brosig

EADS Deutschland GmbH
Willy-Messerschmitt-Straße
85521 Ottobrunn

5 P 610 991 /DE /1

Radarverfahren zur Klassifikation oder Identifikation von Helikoptern

Die Erfindung betrifft ein Radarverfahren zur Klassifizierung oder Identifizierung von
10 Helikoptern.

Bei bekannten Verfahren zur Klassifikation oder Identifikation von Helikoptern werden
mittels Radar eindimensionale Entfernungsprofile erzeugt. Diese werden mit gespei-
cherten Vergleichsprofilen verglichen. Die Vergleichsprofile müssen für jeden Heli-
15 koptertyp und für jeden möglichen Aspektwinkel (in Azimut und Elevation) erzeugt
werden. Beispielsweise werden in diskreten Schritten Entfernungsprofile für 100
diskrete Azimutwerte (z.B. von -180° bis 180° in $3,6^\circ$ Schritten) und unabhängig
davon für 21 diskrete Elevationswerte (z.B. von -40° bis 40° in 4° Schritten) erzeugt.
Es müssen also für einen Hubschraubertyp $100 * 21 = 2100$ Entfernungsprofile
20 erzeugt und in einer Datenbank abrufbar sein. Geht man von etwa 40 derzeit ge-
bräuchlichen Helikoptertypen aus, so ergibt sich eine Anzahl von 82.000 benötigten
Entfernungsprofilen, um eine sicher Klassifikation durchzuführen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrund, ein Klassifikations- oder
25 Identifikationsverfahren für Helikopter zu schaffen, bei dem der Umfang der Ver-
gleichsdaten wesentlich reduziert werden kann und bei dem die Vergleichsdaten mit
geringem Aufwand ermittelt werden können.

Diese Aufgabe wird mit dem Gegenstand des Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte
30 Ausführungen sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist folgende Merkmale auf:

- Erzeugung eines eindimensionalen Entfernungsprofils von dem zu klassifizierenden oder zu identifizierenden Helikopter mittels Radar;
- Ermittlung der Aspektwinkel in Azimut und Elevation bezogen auf die Radaran-
tennenachse;
- Messung der folgenden Radarechos in dem eindimensionalen Entfernungsprofil:
 - Radarecho des Helikopterrumpfs,
 - Radarecho des Rotorkopfs des Hauptrotors und/oder das Radarecho der
Hauptrotorachse,
 - Radarecho der Heckrotorachse,
- Ermittlung mindestens zwei der folgenden Helikopterparameter aus den gemessenen Radarechos sowie der ermittelten Aspektwinkel:
 - Gesamtlänge des Helikopters,
 - Abstand zwischen den Rotorachsen von Haupt- und Heckrotor,
 - Abstand zwischen dem Bug des Helikopters und der Rotorachse des Hauptrotors,
- Vergleich der ermittelten Helikopterparameter mit gespeicherten Helikopterparameter für verschiedene Helikoptertypen.

Für die Anwendung der Erfindung werden somit als Vergleichdaten keine Radarmessdaten von Helikoptern benötigt. Als Vergleichsdaten werden lediglich fixe Helikopterparameter benötigt, die aus allgemein zugänglichen Quellen z.B. in Publikationen (Jane's: All the World's Aircraft) oder im Internet (<http://fas.org/>) erhalten werden können.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann sowohl von einer fliegenden (z.B. Helikopter, Kampfflugzeug) als auch von einer stationären Radarantennen-Plattform aus angewandt werden.

5 Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein vereinfachtes Modell für die Radarstreuung an einem Helikopter,

10 Fig. 2,3 jeweils ein vereinfachtes Modell für ein Radarentfernungsprofil eines Helikopters,

Fig. 4 ein gemessenes Entfernungsprofil eines Helikopters im Frequenzbereich, gewonnen durch Stepped-Frequency Technik (unten) sowie das entsprechende Entfernungsprofil im Zeitbereich (oben),

15 Fig. 5 ein durch Anwendung des MUSIC Verfahrens gewonnenes Entfernungsprofil eines Helikopters.

Bei der Aufnahme von Entfernungsprofilen mittels Radar mit hoher Auflösung (Auflösung kleiner als 30 cm, typische Entfernungen im Bereich von 20 bis 30 km) besteht das Videosignal im wesentlichen aus vier Komponenten. Eine entspricht der Rückstreuung am Helikopterrumpf, eine weitere der Rückstreuung am Rotorkopf um die Hauptrotorachse. Die anderen zwei Komponenten gehören zur Streuung an Haupt- und Heckrotor.

25 Analytisch ergibt sich bei der Erzeugung eines eindimensionalen Entfernungsprofils des Helikopters folgender Ausdruck für das Videosignal:

$$s_{RHel}(t) = \sigma_{skin} \cdot a(t) + \sigma_B \cdot \delta_0(t - T_1) + \sigma_1 \cdot \delta_0(t - T_1) + \sigma_2 \cdot \delta_0(t - T_2)$$

Dabei ist σ_{skin} der Radarrückstrahlquerschnitt des Helikopterrumpfs und $a(t)$ beschreibt die Signallänge und Signalform des Helikopterrumpfs. σ_1 und σ_B zusammen mit der Zeit T_1 beschreiben den Hauptrotor und den Rotorkopf um die Hauptrotorachse. σ_2 zusammen mit der Zeit T_2 beschreiben den Heckrotor.

5

Zur Veranschaulichung zeigt Fig. 1 ein vereinfachtes Modell für die Radarrückstreuung an einem Helikopter (dargestellt in Aufsicht). Die Rückstreucentren der genannten Komponenten sind mit S_0 , S_1 , S_2 bezeichnet (die Rückstreucentren von Hauptrotor und Rotorkopf fallen zusammen). Sie definieren zwei messbare Abstände d_1 und d_2 am Helikopter. Dabei ist d_1 der Abstand zwischen dem Bug des Helikopters und der Rotorachse des Hauptrotors. d_2 ist die Gesamtlänge des Helikopters („Länge über alles“).

15

Fig. 2 zeigt die Situation (in Aufsichtsdarstellung) bei der Erzeugung eines Entfernungssprofils des Helikopters mittels Radar Ra mit einem Aspektwinkel in Azimut Ψ_{az} bezogen auf die Radarantennenachse B. Ebenfalls dargestellt ist das entsprechende Entfernungssprofil mit den Rückstreupeaks für Helikopterrumpf, Rotorkopf/Hauptrotor sowie Heckrotor.

Den Abständen d_1 , d_2 entsprechen die Laufzeiten T_1 , T_2 innerhalb des Ziels (Helikopter).

25

Für die Bestimmung der Laufzeiten T_1 , T_2 muss der Aspektwinkel in Azimut Ψ_{az} und Elevation Ψ_{el} relativ zur Radarantennenachse B bekannt sein. Die Aspektwinkel werden mittels Extrapolation von Trackingdaten aus vorhergehenden Messungen zur Zieldetektion gewonnen. Sie werden aus der Geschwindigkeit des Ziels sowie der Eigengeschwindigkeit der Antennenplattform ermittelt.

Für die oben definierten Parameter gelten folgende Beziehungen:

30

$$T_i = \frac{2d_i'}{c} \quad \underline{d}' = f(\underline{d}, \underline{\psi}) \quad \underline{d}' = \begin{bmatrix} d_1' \\ d_2' \end{bmatrix} \quad \underline{\psi} = \begin{bmatrix} \psi_{az} \\ \psi_{el} \end{bmatrix}$$

5 Durch Ermittlung der Laufzeiten T_i kann somit auf die Helikopterparameter d_i geschlossen werden. Eine Klassifikation/Identifikation des Helikopters ausschließlich anhand gespeicherter Helikopterparameter wird dadurch ermöglicht.

10 Die Signalverarbeitung zur Gewinnung der Signallaufzeiten T_i ist mit an sich bekannten Verfahren möglich.

Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Fig. 3 bis 5 ein Verfahren beispielhaft dargestellt.

15

Das Helikoptersignal $s_{RHel}(t)$ kann angenähert werden durch ein Signal, welches drei Signalimpulse („Spikes“) im Zeitbereich enthält. Das Signal ist in Fig. 3 dargestellt und dort mit $x(t)$ bezeichnet.

20

$$x(t) = A_0 \cdot \delta_0(t - T_0') + A_1 \cdot \delta_0(t - T_1') + A_2 \cdot \delta_0(t - T_2')$$

Die Fouriertransformierte $X(f)$ des Signals $x(t)$ ist:

25

$$X(f) = A_0 \cdot e^{-j2\pi f T_0'} + A_1 \cdot e^{-j2\pi f T_1'} + A_2 \cdot e^{-j2\pi f T_2'}$$

30

Bei Anwendung des dem Fachmann bekannten Stepped Frequency Verfahrens wird direkt diese Fouriertransformierte gemessen, die in Form diskreter Abtastwerte $X(l\Delta f)$ vorliegt (siehe Fig. 4 unten), wobei Δf die Frequenzdifferenz der einzelnen Radar-kanäle und $l = 1, \dots, N$ ist.

Zur Abschätzung der Laufzeitparameter T_0, T_1, T_2 (diese sind gegenüber den obengenannten Laufzeiten T_i auf einen anderen – beliebigen - Nullpunkt bezogen) können vorteilhaft dem Fachmann bekannte hochauflösende Verarbeitungstechniken („super resolution techniques“) wie z.B. Maximum Likelihood Estimation, Maximum Entropy Estimation und MUSIC Estimation eingesetzt werden. Das MUSIC Verfahren (Multiple Signal Classification) ist z.B in R.O. Schmidt in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-34, No 3, März 1986, Seiten 276 – 280 beschrieben. Ziel dieser Verfahren ist es, aus der gemessenen Fouriertransformierten $X(l\Delta f)$ im Frequenzbereich eine Abschätzung für das entsprechende Signal $x(k)$ im Zeitbereich (Fig. 4 oben) zu gewinnen.

Für diese Abschätzung wird – wie bereits oben erläutert - angenommen, dass der interessierende Teil des Helikopterprofils im Zeitbereich aus drei Impulsen („Spikes“) besteht. Im Frequenzbereich entsprechen diese Spikes drei monochromatischen Signalen.

Das Modellsignal $S(l)$ ist somit, mit $l = 1, \dots, N$:

$$S(l) = A \cdot e^{-j2\pi\Delta f l T}$$

Das gemessene Signal ist $Y(l) = X(l) + W(l)$, $l = 1, \dots, N$, mit den Rauschwerten $W(l)$. In Vektorschreibweise ergibt sich folgende Darstellung: $\underline{Y} = \underline{X} + \underline{W}$.

Die Korrelationsmatrix \underline{M} ist: $\underline{M} = \underline{Y} \underline{Y}^*$.

Die Abschätzung gemäß dem Verfahren der Maximum Likelihood Estimation ergibt:

$$P_{ML}(T) = \frac{1}{S^*(T) M^{-1} S(T)}$$

Bei Anwendung der Maximum Entropy Estimation ergibt sich folgende Abschätzung:

$$P_{ME}(T) = \frac{1}{S^T(T) M^{-1} M^{-1*} S^*(T)}$$

Die Abschätzung gemäß dem MUSIC Verfahren ergibt:

5

$$P_{MU}(T) = \frac{1}{S^T(T) \Phi_M \Phi_M^* S^*(T)}$$

wobei Φ_M eine zu den Rauscheinwerten gehörende Untermatrix ist. Unter der

10 Annahme von drei Spikes im Helikopterentfernungsprofil ergeben sich N-3 Rauscheinwerte.

Fig. 5 zeigt ein Helikopterentfernungsprofil im Zeitbereich, das durch Abschätzung mit dem MUSIC Verfahren aus dem gemessenen Entfernungsprofil im Frequen-

15 zbereich gewonnen wurde. Mit den darin enthaltenen Werten für T_0' , T_1' , T_2' können bei Kenntnis der Aspektwinkel Ψ_{az} , Ψ_{el} die gesuchten Helikopterparameter unmittelbar berechnet werden.

Patentansprüche:

1. Radarverfahren zur Klassifizierung oder Identifizierung von Helikoptern mit den Merkmalen:

- Erzeugung eines eindimensionalen Entfernungsprofils von dem zu klassifizierenden oder zu identifizierenden Helikopter mittels Radar (Ra);
- Ermittlung der Aspektwinkel in Azimut und Elevation bezogen auf die Radarantennenachse (B);

gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- Vermessung folgender Radarechos in dem eindimensionalen Entfernungsprofil:
 - Radarecho des Helikopterrumpfs,
 - Radarecho des Rotorkopfs des Hauptrotors und/oder das Radarecho der Hauptrotorachse,
 - Radarecho der Heckrotorachse,
- Ermittlung mindestens zwei der folgenden Helikopterparameter aus den vermessenen Radarechos sowie der ermittelten Aspektwinkel:
 - Gesamtlänge des Helikopters,
 - Abstand zwischen den Rotorachsen von Haupt- und Heckrotor,
 - Abstand zwischen dem Bug des Helikopters und der Rotorachse des Hauptrotors,
- Vergleich der ermittelten Helikopterparameter mit gespeicherten Helikopterparameter für verschiedene Helikoptertypen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Erzeugung des eindimensionalen Entfernungsprofils mittels eines Stepped Frequency Verfahrens unmittelbar im Frequenzbereich erfolgt.

5

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vermessung der Radarechos unter Einsatz sogenannter „Super Resolution Verfahren“ wie z.B. Maximum Likelihood Estimation, Maximum Entropy Estimation oder MUSIC Estimation erfolgt.

10

Fig. 1

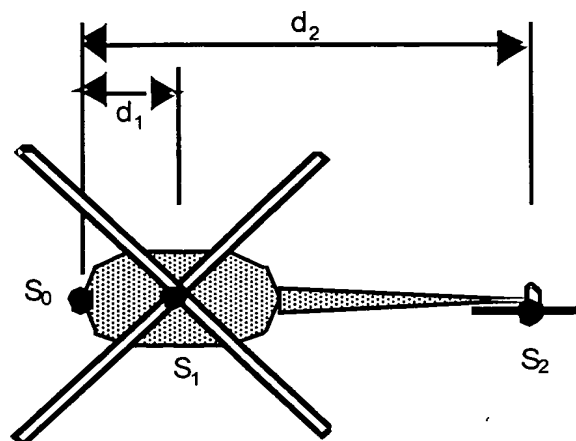


Fig. 2

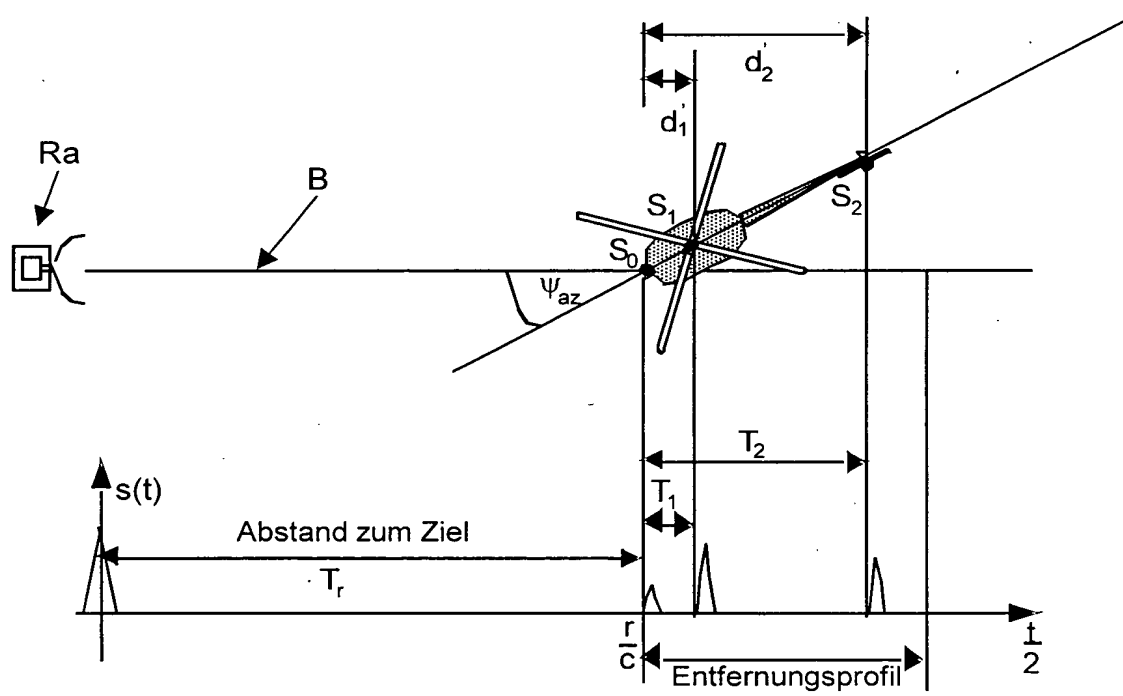


Fig. 3

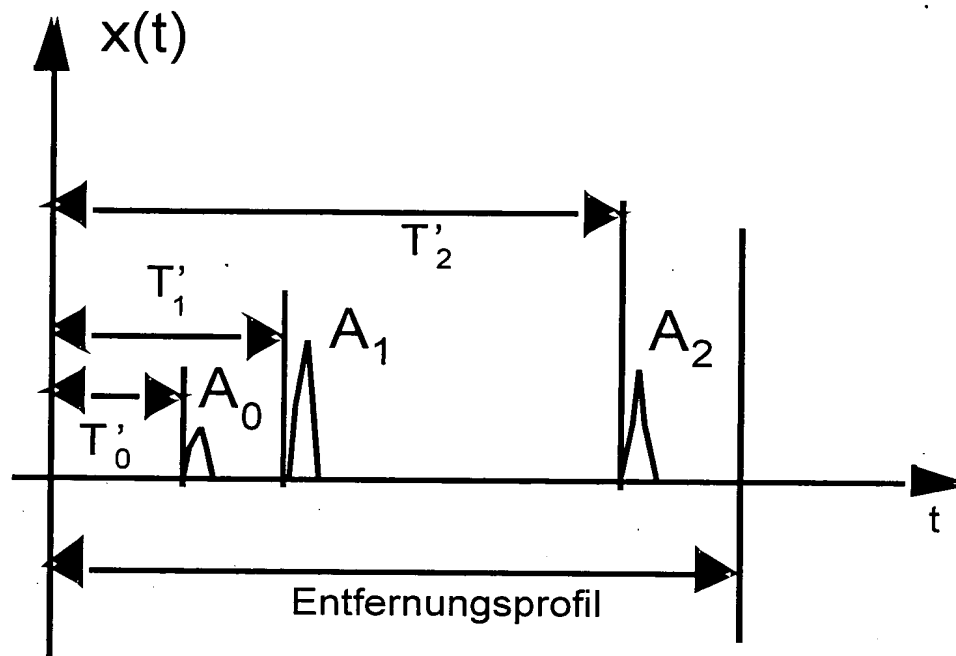
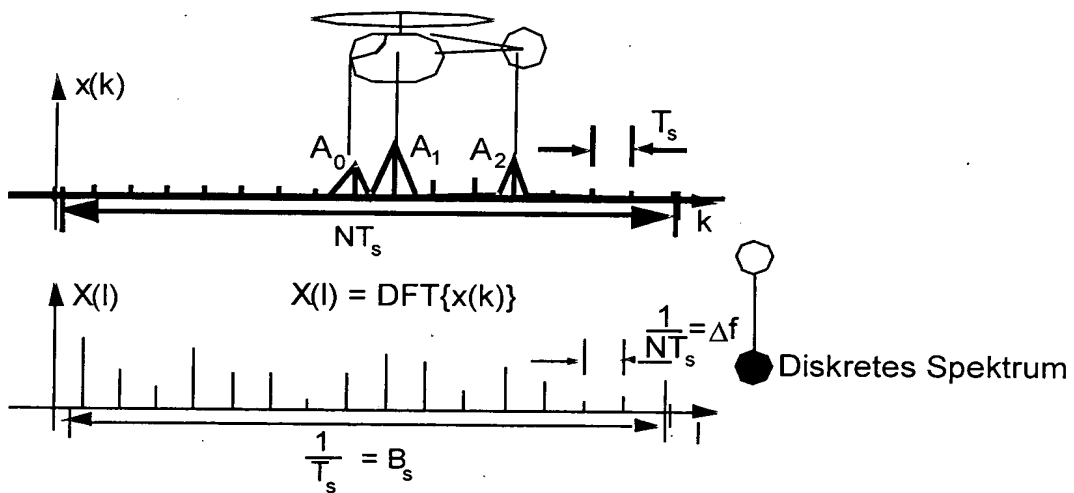
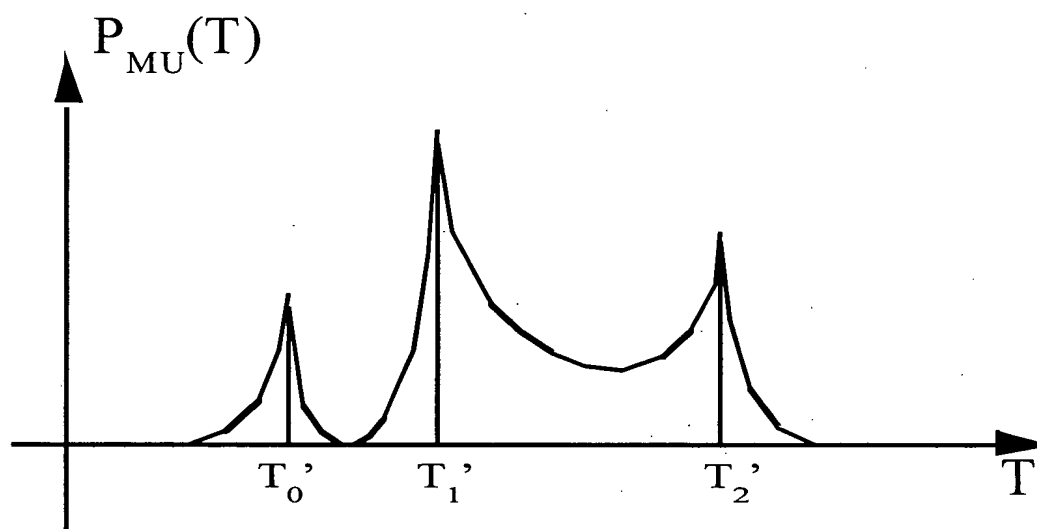


Fig. 4



B_s = Radar-Bandbreite
 Δf = Abstand der Radarkanäle

Fig. 5



Zusammenfassung

5 Die Erfindung betrifft ein Radarverfahren zur Klassifizierung oder Identifizierung von Helikoptern mit den Merkmalen:

- Erzeugung eines eindimensionalen Entfernungsprofils von dem zu klassifizierenden oder zu identifizierenden Helikopter mittels Radar (Ra);

10

- Ermittlung der Aspektwinkel in Azimut und Elevation bezogen auf die Radarantennenachse (B);

- Vermessung folgender Radarechos in dem eindimensionalen Entfernungsprofil:

15

- Radarecho des Helikopterrumpfs,
- Radarecho des Rotorkopfs des Hauptrotors und/oder das Radarecho der Hauptrotorachse,
- Radarecho der Heckrotorachse,

20

- Ermittlung mindestens zwei der folgenden Helikopterparameter aus den vermessenen Radarechos sowie der ermittelten Aspektwinkel:

25

- Gesamtlänge des Helikopters,
- Abstand zwischen den Rotorachsen von Haupt- und Heckrotor,
- Abstand zwischen dem Bug des Helikopters und der Rotorachse des Hauptrotors,

30

- Vergleich der ermittelten Helikopterparameter mit gespeicherten Helikopterparameter für verschiedene Helikoptertypen.

(Fig. 2)

Fig. 2

